

DE19512447

**Title:**  
**Pulse laser distance measurement system**

**Abstract:**

A pulsed laser beam of ultra short pulse width is divided (102) into measurement and reference beams. The measurement beam is deflected (103,104) to the object (100) and the reflected light collected, combined (106) with the reference beam and fed to a time gate (107). The distance to the object is derived (108) from the signal generated by the time gate. The combination device deflects the beams along parallel paths to time gate and contains devices which bring the beams into overlap within the time gate.



DE 195 12 447 A 1

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 195 12 447 A 1

51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
G 01 B 9/02  
G 01 S 17/42  
G 01 J 3/16  
G 01 P 3/80  
G 02 F 1/35

21 Aktenzeichen: 195 12 447.2  
22 Anmeldetag: 3. 4. 95  
43 Offenlegungstag: 5. 10. 95

30 Unionspriorität: 32 33 31  
01.04.94 US 221516

71 Anmelder:  
Imra America, Inc., Ann Arbor, Mich., US

74 Vertreter:  
Tiedtke, Bühlung, Kinne & Partner, 80336 München

72 Erfinder:  
Hariharan, Anand, Ann Arbor, Mich., US; Harter,  
Donald J., Dr., Ann Arbor, Mich., US

54 Impuls laser-Abstands-Meßsystem und Verfahren

57 Es ist ein optischer Korrelator offenbart, der in Kombination mit einer ultraschnellen optischen gepulsten Quelle zum Bestimmen von Abständen von Objekten mit Submikrometerpräzision verwendet werden kann. Das System enthält zumindest eine ultraschnell gepulste Laserquelle (101), deren Signal in eine Amplituden-Aufteilungs-Einrichtung (102) geführt wird, eine Einheit (103) zum Aussenden gepulster Strahlung zu dem Ziel, zusammen mit einer Einheit zum Sammeln (104) der von der Oberfläche des Objekts (100) gestreuten oder reflektierten Strahlung, eine nichtlineare Einrichtung (107) zur Zeitfensterung des gesammelten Signals mit der amplitudengeteilten Quelle, und eine Erfassungseinrichtung (108) zum Beobachten des zeitgefensterten Signals.

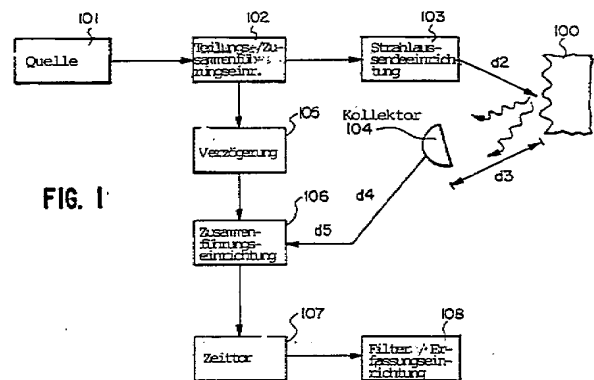


FIG. 1

DE 195 12 447 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 08. 95 508 040/683

15/31

Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet von Lasern mit ultrakurzer Impulsbreite, und insbesondere auf die Verwendung derartiger Laser bei Abstands-Meßsystemen und ähnlichen Anwendungen, sowie auf ein Autokorrelations-Subsystem einer derartigen Abstands-Meßeinrichtung.

Ultraschnelle Laseroszillatoren sind derzeit bekannt, denen es möglich ist, Impulsbreiten der Größenordnung von einigen zehn Femtosekunden mit Impulsenergien im Nanojoule-Bereich bei Wiederholungsraten von bis zu 100 MHz zu erzeugen. Begleitend zu dieser Entwicklung wurden Korrelations-Verfahren zum Durchführen von Diagnosen bzw. Analysen der ultrakurzen Laserimpulse entwickelt. Vergleiche zum Beispiel E.P. Ippen und C.V. Shank in "Ultrashort Light Pulses", ed. S.L. Shapiro; J.A. Armstrong; J. Appl. Phys., 38 2231 (1967); M. Maier, w. Kaiser und J.A. Giordmaine; Phys. Rev. Lett., 17 1275 (1966); E.P. Ippen and C.V. Shank; Appl. Phys. Lett., 22 488 (1975); K.L. Sala, G.A. Kenney-Wallace und G.E. Hall; IEEE J. Quantum Electron. 16(9) 990 (1980); J.J. Fontaine, J.-C. Diels, C-Y Wang und H. Sallaba; Opt. Lett., 6(9) 405 (1981)). Bei diesen Bezugsquellen ist jedoch der Impuls selbst das Objekt der genauen Prüfung.

Da das Gebiet der Femtosekunden-Laser selbst relativ neu ist, werden erste Anwendungen derartiger Laser jetzt gerade entwickelt. Es ist eine der Aufgaben der vorliegenden Erfindung, Femtosekunden-Laser verwendende Vorrichtungen und Verfahren sowie zugehörige Korrelations-Verfahren auf dem Gebiet der Abstandsmessung ("ranging") und verwandten Disziplinen anzuwenden.

Aus dem Stand der Technik ist eine Vielzahl von Verfahren zum Zweck der Abstandsmessung zwischen einem Beobachter und einem entfernten Objekt oder zwischen zwei entfernten Objekten bekannt. Gepulste Mikrowellen verwendende Verfahren schafften die Möglichkeit, eine Präzision innerhalb einiger Zentimeter über merkliche Entfernungen zu erzielen. Im Nanosekunden-Bereich gepulste Laser verwendende Laserradarverfahren erzielten eine leicht bessere Entfernungsauflösung bis herab zu einigen Millimetern. Diels et al, demonstrierten in Opt. & Laser Eng., 4 145 (1983) die praktische Verwendbarkeit der Verwendung von optischen Impulsen im Subpikosekundenbereich beim Durchführen von Abstandsmessungen mit optischer Zeit-Domänen-Reflektometrie bzw. bei der Photometrie des Reflexionsgrades im Zeitbereich. Andere haben dieses und ähnliche Verfahren auf das Problem des Abbildens von Objekten angewendet, die innerhalb schlammiger bzw. dickflüssiger oder stark streuender Medien angeordnet sind.

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Abstands-Meßeinrichtung zu schaffen, die auf einen ultrakurze Impulse verwendenden Autokorrelationsverfahren beruht.

Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung gemäß den Patentansprüchen 1, 11 und 13 und einem Verfahren gemäß Patentanspruch 12 gelöst. Erfindungsgemäß wird Licht von einer ultraschnellen Impulsquelle in Referenz- und Test-Strahlen aufgeteilt, die nachfolgend wieder zusammengeführt bzw. rekombiniert werden, nachdem der Referenzstrahl einen bekannten optischen Weg zurückgelegt bzw. durchlaufen hat und der Teststrahl von dem der Messung unterzogenen Objekt reflektiert wurde. Ein nichtlinearer Frequenzverdoppelungskristall wird als ein Zeittor bzw. zeitbasierte Auswerteschaltung verwendet, um die Autokorrelation der Signale zu erhalten, aus der der Abstand zu dem Objekt abgeleitet werden kann bzw. ermittelt werden kann. Bei einer alternativen Anordnung wird ein Paar von Impulsquellen verwendet, um die Notwendigkeit für einen Referenzzweig des Autokorrelators zu beseitigen.

Die vorstehende und andere Aufgaben sowie Vorteile der Erfindung werden mit Bezug auf die folgende ausführliche Beschreibung der derzeit bevorzugten Ausführungsbeispiele der Erfindung in Verbindung mit der begleitenden Zeichnung deutlicher.

Es zeigen

**Fig. 1** eine Schemadarstellung eines Autokorrelators mit einem einzelnen Meßwertaufnehmer-Zweig;

**Fig. 2** eine Implementierung eines Autokorrelators;

**Fig. 3** die Erzeugung des Autokorrelations-Verlaufs mit einem beweglichen Referenzzweig bzw. -arm;

**Fig. 4** zwei ultraschnelle Quellen, die verwendet werden, um in Abwesenheit des Referenzzweiges eine zeitliche Veränderung zu erzeugen;

**Fig. 5** eine Drehzahl-Messung an einem Zahnrad bzw. Getriebe, das an einer Welle befestigt ist; und

**Fig. 6** die Messung von Schwingungsparametern.

Die Aufgabe bzw. der Zweck einer Abstands-Meßeinrichtung besteht darin, einen Abstand bzw. eine Entfernung zwischen einem festen Punkt im Raum und einem Testobjekt mit hoher Präzision und Genauigkeit zu bestimmen. Bei Abstandsmessungen können die ultraschnellen Impulsbreiten von einer Laserquelle wirksam verwendet werden, um eine räumliche Auflösung bis herab zu einem Bruchteil der Impulsbreite zu erzielen, wobei die Laufzeit bzw. Flugzeit für den zu vermessenden Abstand unter Verwendung von Zeittorschaltungen bzw. mittels Zeitfensterung bestimmt wird.

Eine das Konzept wiedergebende Darstellung des System der Erfindung ist in **Fig. 1** dargestellt. Dabei wird eine Mittels der Quelle **101** erzeugte und von einer Teilungs-/Zusammenführungs- bzw. Kombinerungs-Einrichtung **102** in Referenz- und Test-Impulse aufgeteilte elektromagnetische Strahlung von **103** abgegeben bzw. ausgestrahlt, um dadurch einen optischen Weg  $d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5$  zu durchlaufen bzw. zu überwinden, wenn sie aus dem Strahl-Übertrager **103** austritt, von dem Testobjekt **100** reflektiert/gestreut wird, durch eine Sammeleinrichtung bzw. einen Kollektor **104** zurückkehrt und mit dem ausgeblendeten bzw. abgespaltenen Referenzstrahl in der Zusammenführungseinrichtung bzw. Kombinerungseinrichtung **106** zusammengeführt wird bzw. rekombiniert wird. Die Zeitverzögerung zwischen der Amplitudenteilung bei der Teilungseinrichtung **102** und der Rekombination bzw. Wieder-Zusammenführung/der Zeitfensterung in einer Kombinerungseinrichtung **106** und einer nichtlinearen Zeitfensterungseinrichtung bzw. einem Zeittor **107** wird, wenn sie exakt bekannt ist, ein Maßstab bzw. eine Eichgrundlage für den Abstand  $\Delta d$ , der aus der Geschwindigkeit der elektromagnetischen Strahlung entlang des optischen Testwegs berechnet werden kann. Wenn die (durch **105**

auferlegte bzw. erzwungene) Zeitverzögerung exakt gleich der Flugzeit bzw. Laufzeit des Impulses in dem optischen Abstandsmessungsweg ist, stimmen die bei der Amplituden-Kombinierungseinrichtung ankommenden Impulse zeitlich überein. Deshalb schaltet sich das Zeittorg bzw. die Zeitfensterungseinrichtung ein, und ein Signal wird von der Erfassungseinrichtung 108 aufgezeichnet, die integrierende Filter enthalten kann. Zu allen anderen Zeitpunkten bzw. Zeiten stimmt der verzögerte Impuls nicht mit dem Signalimpuls überein und die Zeitfensterungseinrichtung bleibt ausgeschaltet und es gibt kein Ausgangssignal an der Erfassungseinrichtung, bzw. der Erfassungseinrichtung wird kein Ausgangssignal zugeführt. Das über viele Impulse aufgezeichnete Signal ergibt die Autokorrelations-Funktion des Impulses. Die wesentliche interessierende Größe ist selbstverständlich die Zeitverzögerung zwischen dem Signalimpuls und dem Referenzimpuls.

Mit Bezug auf Fig. 1 und 2 enthält das System der vorliegenden Erfindung eine Quelle 101 (200 in Fig. 2) extrem kurzer Impulse elektromagnetischer Energie, die vorzugsweise ein ultraschnell gepulster Laseroszillator ist. Die Quelle kann aus einer Vielzahl verschiedener bekannter Typen ausgewählt werden; eine bevorzugte Quelle ist ein im sichtbaren Bereich arbeitender phasenverkoppelter titan-dotierter Saphir-Laser, mit dem es möglich ist, transformationsbegrenzte Impulse einer Dauer von 60 fs (Halbwertsbreite), einer Wiederholungsrate von 100 Mhz und einer Wellenlänge von 800 nm zu erzeugen. Der Laserausgang bzw. das Laser-Ausgangssignal ist horizontal polarisiert und hat eine mittlere Leistung von etwa 100 mW. Andere Quellen für Femtosekunden-Impulse, die bei der Erfindung verwendbar sind, umfassen die folgenden: (a) mittels Kerr-Linsen phasenverkoppelte Laser, (b) RPM-, APM-Laser, (c) polarisationsempfindliche phasenverkoppelte Faserlaser, (d) aktiv phasenverkoppelte Laser, (e) Faser- Fasergritter- und Faserprismen-Impulskompressoren, die die Bandbreite von etwa im Pikosekundenbereich gepulsten Quelle vergrößern bzw. verbessern, (f) Terahertz-Dipolantennen, (g) Quellen zur Erzeugung des kontinuierlichen Anteils, (h) Synchrotron-Quellen, (i) teilweise Koherente Röntgen-Quellen, (j) Mikrowellen und Hochfrequenz-Oszillatoren und (k) aktive oder passive elektrooptische Wellenleiter-Schalter.

Die Ausgangswellenlänge der Quelle kann relativ frei gewählt werden, jedoch ist die endgültige Impulsbreite durch die Quellen-Wellenlänge bestimmt. Die wünschenswerte Ausgangswellenlänge ist ebenso durch derartige Faktoren wie die Absorption und die zeitliche Dispersion der Impulse in dem Medium bestimmt, durch das die elektromagnetische Energie sich ausbreitet bzw. übertragen wird. Die Impulse müssen nicht transformationsbegrenzt sein: d. h., das Produkt der Impulsbreite und seiner Energiebandbreite muß nicht, wie durch die Heisenbergsche Unschärfe-Relation bestimmt, ein Minimum annehmen. Jedoch hat die Amplitude und der Funktionsverlauf bzw. die Funktionsform des Modulations-Frequenzhubs, der bei einem nicht-transformationsbegrenzten Impuls vorhanden ist Auswirkungen auf die Auflösung der ausgemessenen Entfernung bzw. des gemessenen Abstands, sowie auf ein Signal-Störsignal-Verhältnis bzw. Signal-Rauschverhältnis des Systems. Die Auflösung und/oder der Störabstand bzw. Signal-Rauschverhältnis verringern sich mit sich vergrößerndem Modulations-Frequenzhub auf dem Impuls.

Die Amplitudenteilungs- bzw. Rekombinationselemente 102 und 106 können auf eine Vielzahl von Arten realisiert werden: Strahlteiler mit polarisierenden Platten, Strahlteiler mit polarisierenden Würfeln, polarisierende Prismen wie beispielsweise Wollaston-Prismen oder Glan-Prismen, -3 dB-Faserkoppler, usw. In der nachstehend beschriebenen Fig. 2 sind die Funktionen beider Elemente in einem nichtpolarisierenden Strahlteiler 202 vereint.

Das eine variable Verzögerungszeit einstellende Element 105, nachstehend als Verzögerungselement bezeichnet, ist typischerweise eine optische Verzögerungsleitung und auf eine Vielzahl von Arten verwirklichtbar. Der Strahl kann direkt von einer zurückreflektierenden Einrichtung (203 in Fig. 2) wie beispielsweise einem Würfel oder einem rechtwinkligen Prisma zurückreflektiert werden, um so einen optischen Referenzweg zu definieren. Die zurückreflektierende Einrichtung kann auf einem eine Translationsbewegung ausführenden Apparatur bzw. einem Translations-Apparaturteil angebracht sein, der wiederholt mittels eines Dreieckswellensignals oder eines Signals einer anderen Signalform bzw. Signalsverlaufs angesteuert wird. Mechanische Stellglieder bzw. Aktuatoren zum Bewirken der Translation können aus elektromechanischen oder piezoelektrischen Meßgrößenumformer-Elementen bestehen. Dies bewirkt, daß die optische Weglänge um einen Mittelwert schwingt. Der selbe Zweck wird durch Glasplatten erfüllt, die rotierend in den und aus dem Weg des optischen Referenzstrahls eingebracht werden. Eine optische Faser mit einem Bogen bzw. einem Knick bzw. einer Ausbuchtung bzw. einer Schleife bzw. einer Krümmung, die den zurückreflektierenden bzw. retroreflektierenden Würfel/Spiegel ersetzt, kann ebenso als die Verzögerungsleitung dienen. Eine andere verwendbare Implementierung der Verzögerungsleitung, wie beispielsweise durch K.F. Kwong et al; in Opt. Lett., 18(7) 558 (1993) offenbart, besteht aus einem Streugitter bzw. Diffraktionsgitter und einem einer Winkelschwankung unterliegenden bzw. ausgesetzten Spiegel.

Zum Erhalten des Autokorrelations-Verlaufes wird der optische Weg des Referenzzweiges bzw. -armes wiederholt ausgelenkt bzw. zum Oszillieren gebracht; zum Spurführen des Testzweigs auf Echtzeitbasis wird ein Servo-System verwendet, um eine Rückkopplung zu der Translations-Einrichtung zu schaffen, welche dann die optische Referenzweglänge einstellt, um das Korrelationssignal zu maximieren.

Eine Implementierung des in Fig. 1 schematisch dargestellten Systems ist in Fig. 2 dargestellt. Die Autokorrelations-Einrichtung bzw. der Autokorrelator umfaßt ein Michelson-Interferometer (201) mit veränderlichen Referenz- und Testzweigen bzw. -wegen 220, 230. Ein nichtpolarisierender dünner Strahlteiler 202 von 0,5 mm Dicke teilt den Laserstrahl (mit einer mittleren Leistung von 100 mW) in zwei senkrecht zueinander stehende Komponenten gleicher Amplitude auf. Licht in dem Referenzzweig 220 wird von einem rechtwinkligen BK-7 Prisma 203 zurückreflektiert, daß an einem mechanischen Stellglied mit einer zulässigen maximalen Auslenkung von 4 cm angebracht ist. Eine Audio-Lautsprecher-Schwingungspule kann als ein geeignetes Stellglied dienen. Das Prisma reflektiert den auffallenden bzw. einfallenden Strahl und verschiebt ihn gleichzeitig lateral um bis zu 10 mm. Diese Verschiebung wird variabel gehalten, indem die gesamte Stellgliedanordnung auf einem (nicht

gezeigten) Translations-Apparatur angebracht wird. Eine sinusförmige Spannung von etwa 20 Hz wird an dem Stellglied angelegt, was zu einer optischen Weglängenauslenkung von etwa 2 cm führt, wodurch der optische Weg des Referenzstrahls sich sinusförmig um etwa 4 cm um einen Mittelwert herum ändert.

Die andere Hälfte des Laserstrahles tritt durch den Strahlteiler hindurch und wird unter Verwendung eines Strahl-Aussenders/Kollektors in Form einer konvexen Linse ( $f = 20$  cm) 204 auf die Testoberfläche 205 fokussiert bzw. gebündelt. Reale Testoberflächen können nicht immer hochreflektierend sein und deshalb ist ein großer Streubetrag und somit eine große Dämpfung zu erwarten. Beispielsweise würde eine Lambertsche Streuoberfläche einen in einem Konuswinkel von  $2\theta$  begrenzten Strahl erfordern und diesen über nahezu  $2\pi$  Steradian streuen, was einen Signalverlust bzw. eine Signaldämpfung von mehr als einer Größenordnung hervorrufen würde. Eine Linse relativ kleiner Brennweite würde diese Dämpfung bzw. Verlust minimieren, jedoch würde die Auswahl einer zu kleinen Brennweite zu einem sehr kleinen Konfokal-Parameter und einem zu erwartenden kleinen Bereich entlang der optischen Achse führen, über den der Strahl streng fokussiert bzw. gebündelt verbleibt. Unter Berücksichtigung der eigentlichen Aufgabe des Messens hinreichend großer Änderungen der Position der Oberfläche mit Bezug auf den Beobachter und dem Bedürfnis, das Objekt über den gesamten Bereich seiner Position im Brennpunkt zu halten, muß ein Kompromiß zwischen Sammeleffizienz bzw. -wirkungsgrad und Schärfentiefe bzw. Tiefe des Brennpunkts eingegangen werden.

Die Rückläufer bzw. zurückgelangenden Strahlen von den beiden Armen bzw. Zweigen 220, 230 werden aufgrund der Zusammenführung bzw. Rekombination in dem Strahlteiler 202 in Bezug aufeinander parallelisiert, mit einer lateralen Verschiebung zwischen den Strahlen. Danach werden sie mit einer Linse mit kurzer Brennweite ( $f = 3$  bis 10 cm) 206 gebündelt bzw. fokussiert und auf die Zeitfensterungseinrichtung 207 gerichtet, die hier die Gestalt eines nichtlinearen frequenzverdoppelnden Kristalls annehmen kann, wie später ausführlich beschrieben. Tatsächlich bilden die Linsen 204 und 206 ein Abbildungssystem, daß ausgelegt ist, um das gestreute Signal auf einen kleinen Brennpunkt in dem Kristall zu bündeln.

Bei der herkömmlichen Reflektometrie führt das Vorhandensein von Streuung und Absorption in dem zwischen dem vermessenen Objekt und der Vermessungseinrichtung vorhandenen Medium zu Störsignalen bzw. falschen Signalen und einer Verringerung des Leistungsvermögens bzw. Nutzeffekts der Funktion. Die Zeitfensterung im Subpikosekunden-Zeitmaßstab beseitigt derartige Störsignale aufgrund der Streuung, da das Zeitfenster die Hintergrundsignale abblockt, wenn der Fensterungsimpuls nicht vorhanden ist. Dies ist ein merklicher Nutzen bzw. Vorteil für eine praktische Abstandsmeßeinrichtung und wird insbesondere bei Signal-Abtastintervallen (d. h., Impuls-Wiederholungsraten) auffallend, die typischerweise 6 oder mehr Größenordnungen größer sind als die Impulsbreite. Aufgrund der nichtlinearen Natur der Zeitfensterung ist dieses Verfahren auch äußerst signalempfindlich. Das zeitgefensterte Signal ist nicht nur proportional zum Signal  $I(t)$ , das von dem Testobjekt zurückgelangt, sondern auch zu der Korrelationsfunktion  $\int I(t) \cdot I'(t + \tau) dt$ , die ein Zeitkorrelationsprodukt des Testsignals und des Zeitfensterungsimpulses ist als vielmehr eine unabhängige Funktion von dem einen oder dem anderen. Tatsächlich wird ein starker Referenzimpuls die gesamte Photonenenergie eines schwachen Signalimpulses virtuell zeitfenstern. Der Zeitfensterungsimpuls wird um viele Größenordnungen intensiver sein als das zurückgelangende Signal, um diese hohe Empfindlichkeit sicherzustellen. Aufgrund dieser Empfindlichkeit ist die Streuung von der Testoberfläche ausreichend, um ein zeitgefenstertes Signal zu erhalten. Dies beseitigt die Notwendigkeit für speziell beschichtete oder behandelte reflektierende Oberflächen auf dem Ziel 205, um eine hohe Reflektivität bzw. ein hohes Reflexionsvermögen sicherzustellen. Oberflächenrauheit sowie Unreinheit werden toleriert.

Ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der nichtlinearen Zeitfensterungseinrichtung gemäß der Erfindung ist ein eine zweite Harmonische erzeugender Kristall. Bei dieser Einrichtung akzeptiert der nichtlineare Aufwärts-umwandler zwei Photonen der gleichen Frequenz als Eingangssignal. Das Signal aufgrund der Erzeugung der zweiten Harmonischen ist proportional zu

$$I(t)I'(t+\tau) \frac{\sin^2(\Delta k \cdot L/2)}{(\Delta k \cdot L/2)}$$

wobei  $\Delta k$  die Wellenvektor-Fehlanpassung zwischen den beiden Eingangssignalstrahlen ist,  $L$  die Wechselwirkungslänge und  $I(t)$  die Intensitäts-Umhüllenfunktionen der Impulse ist.

Der erfindungsgemäß bevorzugte nichtlineare frequenzverdoppelnde Kristall besteht aus einem 1,0 mm Kristall aus Beta-Barium-Borat (BBO). Dieser besondere Kristall wurde wegen seiner hohen Verdoppelungseffizienz bzw. seinem hohen Verdoppelungswirkungsgrad, großer Winkel-Bandbreite, relativ hoher Beschädigungsschwelle bzw. Widerstandsfähigkeit, UV-Transparenz und geringer Impulsverbreiterung aufgrund einer Gruppengeschwindigkeits-Verteilung bzw. Dispersion ausgewählt. Der BBO-Kristall wird mit Bezug auf die c-Achse mit  $28^\circ$  sowie mit Bezug auf die a-Achse mit  $90^\circ$  geschnitten. Die Orientierung des Kristalls sowohl entlang der optischen Achse und senkrecht zu dieser ist so vorgesehen, bzw. angeordnet, um die Erzeugung eines Signals der zweiten Harmonischen zu maximieren. Die Drehung des Kristalls um eine senkrecht zu dem Kristall und in einer beide Eingangsstrahlen enthaltenden Ebene liegende Achse optimiert die Orientierung des Kristalls mit Bezug auf die Polarisation der Eingangsstrahlen. Aufgrund der nachstehend erörterten Phasenübereinstimmungs-Bedingungen, breitet sich das Signal der zweiten Harmonischen entlang der Winkelhalbierenden aus, die den beiden auf den Kristall auftreffenden Strahlen gegenüberliegt. In dem Kristall wird ein Teil bzw. Bruchteil des Eingangs-Strahls von 800 nm auf 400 nm frequenzverdoppelt. BBO ist ein intrinsisch doppelbrechendes Material: in dem Kristall existiert lediglich eine einzige Richtung mit Bezug auf die optische Achse, entlang der die Phasengeschwindigkeit der beiden Fundamental- bzw. Grund-Strahlen gleich der des frequenzverdoppelten

Strahls ist. Diese Ausrichtungs- bzw. Orientierungsbedingung muß erfüllt sein, wenn die Intensität blauen Lichts (frequenzverdoppelt) entlang bzw. über die Länge des Kristalls ansteigen soll. Entlang jeder anderen Achse wird die Brechungsindex-Fehlpassung einen in dem blauen Strahl auftretenden Phasenfehler hervorrufen, und Photonen, die an irgendeinem bzw. jedem beliebigen gegebenen Punkt erzeugt werden, werden auslöschend mit den an einem vorherigen Punkt erzeugten Interferieren und abgeschwächt werden. Die Bedingung zur Phasen-Übereinstimmung der drei Strahlen ist:

$$c/n_{\omega}(\pm \Theta_1) = c/n_{\omega}(-\Theta_1) = c/n_{2\omega}(0)$$

wobei  $c/n_{\omega}(\pm \Theta_1)$  die Lichtgeschwindigkeit im Kristall bei der Fundamental-Frequenz und dem Winkel  $\pm \Theta_1$ ,  $c/n_{2\omega}(0)$  die Lichtgeschwindigkeit im Kristall bei der verdoppelten Frequenz bei dem  $\pm \Theta_1$  schneidenden Winkel ist.

Eine Apertur oder Blende wird verwendet, um diesen Strahl von anderem äußeren Licht auszuwählen. Insbesondere sollte beachtet werden, daß ein gewisser Betrag von Licht der zweiten Harmonischen ebenso kollinear zu jedem dieser auf dem Kristall auftreffenden Strahlen erzeugt wird. Diese werden mit der Apertur sorgfältig zurückgeworfen bzw. ausgeblendet. Ebenso ist die Trennung bzw. Separation des kollinearen frequenzverdoppelten Lichts von dem nicht kollinearen interessierenden Signal um so größer, je kürzer die Brennweite der Linse vor dem Kristall ist, wodurch somit eine bessere Ausblendung möglich ist. Deshalb ist eine kürzere Brennweite vorzuziehen, solange die beiden Strahlen sich noch für die Länge des Kristalls überlappen. Das Verringern der Signale der kollinearen Komponenten ist wichtig, da dies eine Störsignalquelle bzw. Rauschquelle für das Autokorrelationssignal selbst ist. Wie vorstehend erwähnt, werden bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel die peripheren bzw. am Umfang auftretenden blauen Punkte, die den mittleren Strahl begleiten bzw. zusammen mit diesem Auftreten, mittels einer Irisblende 208 beseitigt, und der Mittelstrahl bzw. mittlere Strahl wird durch ein gefärbtes Glasfilter BG23, 209 gefiltert, um jede Fundamental-Strahlkomponente auszublenden. Der gefilterte Strahl wird dann in einem Photomultiplizierer (PMT) 210 erfaßt. Dieser Photomultiplizierer kann eine Einrichtung für allgemeine Zwecke sein, nicht notwendiger Weise mit geringem Rauschen, mit einer endlichen Anstiegszeit. Zu Anzeige- bzw. Darstellungszwecken kann das PMT-Ausgangssignal direkt mit einem digitalisierenden Oszilloskop und einem Zeitintervall-Zähler überwacht bzw. dargestellt werden. Die Signalleitung ist mit 1 M $\Omega$  abgeschlossen.

Wenn die beiden Strahlen von dem Referenz- und Test-Zweig perfekt kollinear gemacht würden anstatt parallel, bildet die Autokorrelationseinrichtung ein interferometrisches System was, eine schnellschwingende "Trägerfrequenz" bedingt, die mit einer langsam variierenden Umhüllenfunktion moduliert ist. In dieser Betriebsart ist eine Auflösung von 1/50 der Wellenlänge der Fundamentalen möglich ( $\approx 800/50$  nm). Als eine Alternative zu der parallelen Strahlanordnung, die vorstehend offenbart ist, kann dieses interferometrische System angepaßt werden, mit der sich ergebenden höheren Auflösung, wenn es für eine besondere Anwendung notwendig ist, bzw. benötigt wird. Da jedoch interferometrische Messungen Systemtoleranzen haben, die für die meisten Anwendungen zu streng sind (d. h., da das interferometrische System nicht besonders robust bzw. widerstandsfähig ist), ist diese Anordnung nicht die bevorzugte Betriebsart für die erfindungsgemäße Messung. Ferner wird die Autokorrelation gestört und als ein Ergebnis müssen die Erfassungs- und Meßsysteme zunehmend unterscheidend sein, da die kollinearen Strahlen eines interferometrischen Systems Anlaß für einen auf einem großen Hintergrund-Gleichstromsignal aufsitzenen Autokorrelations-Spitzenwert bzw. -Peak geben.

Deshalb werden bei einer bevorzugten Betriebsart der Erfindung die beiden Strahlen von den Referenz- und Testzweigen nicht-kollinear in den Kristall eingeführt, und in dem Kristall gebündelt und zum Überlappen gebracht. Wenn die Zweiglängen perfekt übereinstimmen, werden drei Punkte blauen Lichts (frequenzverdoppelt) beobachtet, die aus dem Kristall austreten: der zentrale bzw. mittlere Punkt enthält die gewünschte Intensitäts-Autokorrelation; die ihn umgebenden Punkte werden deshalb wie vorstehend erörtert maskiert bzw. ausgeblendet.

Die meisten der Merkmale des Systems, das wie vorstehend implementiert ist, sind mit harten Umgebungen verträglich bzw. kompatibel. Da es keine Erfordernis für eine interferometrische Ausrichtung bzw. Justierung einer Komponente gibt, ist es gegen Schwingungen, Erschütterung bzw. Schock und thermische Beanspruchung unempfindlich. Die Ausrichtung ist einfach und intuitiv, und die Daten sind in herkömmlicher Weise in einem brauchbaren Format zugänglich.

Mit Bezug auf Fig. 3 wird nun die Erzeugung des Autokorrelations-Verlaufs und seines Verhaltens aufgrund eines schwingenden Referenzzweiges dargelegt. In Fig. 3 stellt die vertikale Achse die Position des Retroreflektors 203 in Abhängigkeit der absoluten Länge des Referenzzweiges dar, wohingegen die horizontale Achse der Zeit entspricht. Drei Situationen (a), (b) und (c) sind dargestellt, entsprechend drei unterschiedlichen Längen des Testzweiges (d. h., drei verschiedenen Positionen des Testobjekts). Der untere Verlauf entspricht der Position des Retroreflektors mit Bezug auf die Zeit und ist dreieckförmig, da die Ansteuerspannung zu dem elektromechanischen Stellglied (z. B. eine Schwingspule) dreieckförmig ist. Die strichpunktierte Linie zeigt die Position des Testzweiges mit Bezug auf den Referenzzweig an. In (a) sind die beiden Zeige exakt gleich. Die an dem Sinussignal angebrachte mit "q" bezeichneten quadratischen Markierungen sind stark übertriebene Markierungen für die Zeitpunkte, zu denen die optischen Längen der beiden Zweige bzw. Arme exakt gleich sind, und somit, wo ein Referenzimpuls mit einem Signalimpuls, der von dem Objekt 205 reflektiert wird, überlappt. Jedes "Quadrat" gibt Anlaß zu einem Spike bzw. einer Spitze in dem PMT-Ausgangssignal: dies ist die gewünschte Autokorrelation. Die vertikale Länge der Quadrate in der Graphik gibt die Laserimpulsbreite wieder. Ein 100-fs-Impuls belegt etwa 30 Mikrometer linearen Raumes bzw. deckt etwa 30 Mikrometer lineare Auslenkung ab. Die Stellgliedauslenkung beträgt 2 cm, und deshalb beträgt die gesamte Schwingungsamplitude der Dreieckswelle in der Fig. 2 cm. Somit ist die Überlappungszeit der Impulse drei Größenordnungen kleiner als die für die

Auslenkung des Stellglieds erforderlichen Zeit.

Dies ist die Erzeugung des Autokorrelationsverlaufs in (a). Mit der Bewegung des Testobjektes, d. h., weiter weg von der Einrichtung, bewegt sich die strichpunktierte Linie zu einer neuen Relativ-Position auf der Sinuswelle wie in (b). Die Quadrate werden entsprechend versetzt, was zu dem Autokorrelationsverlauf (b) führt. Selbst obwohl "t", der Abstand zwischen benachbarten Autokorrelations-Peaks sich ändert, bleibt die Zeit "T", der Abstand zwischen jedem anderen Spitzenwert konstant. Dies ist deshalb, weil "T" die Ansteuerfrequenz des Stellglieds wiedergibt, die konstant bleibt. Wird das Testobjekt noch weiter entfernt, fallen die beiden benachbarten Autokorrelations-Peaks, wie in (c) dargestellt, zusammen und verschwinden schließlich, da es nicht mehr länger eine Überlappung zwischen Test- und Referenz-Impulsen gibt. Die Beziehung zwischen "t" des Autokorrelations-Verlaufs und der tatsächlichen Länge des Testzweigs wird unter Verwendung eines Dreieckswellensignals zum Ansteuern des Stellglieds linear gemacht. Das Vergrößern der Auslenkung des Referenzzweiges wird die Grenzen des Abstandsmeßbereichs vergrößern, was offensichtliche Vorteile haben kann.

Bei einer Wiederholungsrate der Laserquelle von 100 MHz ist das von dem PMT empfangene Signal vielmehr ein Mittelwert über tausende von Laserimpulsen anstatt aufgrund eines einzelnen Impulses. Dies ist deshalb, da der Retroreflektor bei einer Wiederholungsrate von 20 Hz 2 cm innerhalb 25 ms zurücklegt, d. h., 30 Mikrometer in 24  $\mu$ s. Mit einem Impuls, der alle 10 ns von dem Laser ausgeht, bilden 2400 Laserimpulse die 24  $\mu$ s Überlappungszeit. Anders ausgedrückt, 2400 Laserimpulse werden während der Zeitperiode emittiert werden, die der Retroreflektor benötigt, um die physikalische Distanz zu überwinden bzw. zurückzulegen, die einem Laserimpuls entspricht. Das Verringern der Wiederholungsrate des Stellglieds wird das Signal-Rauschverhältnis vergrößern, da über eine größere Anzahl von Laserimpulsen gemittelt werden würde. Dies würde ebenso die gesamte Erfassungszeit bzw. Acquisitionszeit vergrößern und deshalb die gesamte Systemantwort auf Positionsänderungen des Testobjektes beeinflussen. Die Erfassungsgrenze, die von den Erfindern erzielt werden konnte, beträgt 10 Photonen pro Impuls, und eine Rauschäquivalentleistung in der Größenordnung von einem  $1 \text{ pW}/(\text{Hz})^{1/2}$  wurde gemessen.

Fig. 5 stellt ein Ausführungsbeispiel der Erfindung dar, bei dem die Abstandsmeßvorrichtung verwendet wird, um ein Meßergebnis der Winkelgeschwindigkeit bzw. Drehgeschwindigkeit einer rotierenden Welle zu erhalten, indem die Verschiebung entlang eines Bogens bzw. Kreises eines Objekts wie beispielsweise einem an der Welle befestigten Zahnrad bzw. Getriebe verwendet wird. Dieses Ausführungsbeispiel ist insbesondere für eine kontaktfreie Echtzeitmessung eines Drehmoment-Übertragungssystems verwendbar und gegen atmosphärische Streuung und Dämpfung unempfindlich. Das Verfahren bzw. die Vorrichtung ist ausreichend empfindlich, so daß die Streuung von einer unbehandelten Oberfläche ausreichend ist, um ein Meßsignal zur Verfügung zu stellen.

Bei diesem Ausführungsbeispiel umfaßt der Autokorrelator einen nichtpolarisierenden Strahlteiler BSI, der den Laserstrahl in zwei gleiche Amplitudenkomponenten bzw. Komponenten gleicher Amplitude für den veränderlichen Referenzzweig und den Testzweig 501, 502 teilt, wie gezeigt. Eine ultraschnelle Laserquelle 503 erzeugt Impulse mit Breiten im Bereich von typischerweise einigen zehn Femtosekunden. Licht aus dem Referenzzweig wird zu dem Strahlteiler zurückreflektiert. Bei diesem besonderen Ausführungsbeispiel kann die optische Weglänge des Referenzzweigs konstant sein, im Gegensatz zu dem in Fig. 2 dargestellten Verfahren, bzw. der dort dargestellten Vorrichtung, da die Weglänge des Meßzweigs notwendiger Weise schwingen wird. Deshalb ist für diese besondere Anwendung die Schwingspule oder eine andere Translationsvorrichtung nicht notwendig. Die zur Messung verwendete Hälfte des Laserstrahls trifft auf ein auf einer die Winkelbewegung/Drehmoment übertragenden Welle befestigtes Stirnrädervorgelege bzw. Getriebe bzw. Zahnrad G auf. Von dieser Front bzw. Stirnfläche eines Zahnes des Zahnrades gestreutes Licht wird mittels einer Linse L der Brennweite f gesammelt bzw. gebündelt und in den Strahlteiler zurückgekoppelt. Der einfallende Meßfühler-Strahl trifft derart auf die vordere Oberfläche eines Zahnes an dem Zahnrad bzw. Vorgelege in einer Höhe von bzw. oberhalb der Achse der Welle auf, daß das zurückgestreute Licht in die Linse L maximal ist. Die Geometrie des Zahnrades bedingt bzw. erzwingt jedoch, daß die vordere Fläche des untersuchten Zahnes innerhalb des Gesichtsfeldes des Teststrahls über eine die Brennweite nicht überschreitende Distanz sein darf. Bei dem Einsatz in Fig. 5, bei  $\Theta > \Theta_1$ , blockiert der Zahn vor dem untersuchten den Laserstrahl. Für  $\Theta > \Theta_1$  ist der Zahn zu niedrig, um innerhalb des Gesichtsfeldes des Teststrahls zu verbleiben.

Die Linse L hat eine ausreichend lange Brennweite, daß die Schärfentiefe bzw. Brennpunktiefe den geschätzten Bereich der Verschiebung der Zähne des Zahnrades abdeckt. Für ein optimales Autokorrelations-Signal erzwingt eine schmale bzw. enge Bündelung bzw. Fokussierung in den nichtlinearen Kristall, daß Weglängen  $a + b + c \approx f + f_2$  sind, wobei  $f_2$  die Brennweite der Linse  $f_2$  ist. Die zurückgelangende Strahlung von den beiden Zweigen werden deshalb zueinander parallelisiert mit einer lateralen Verschiebung zwischen den Strahlen. Danach werden sie in den nichtlinearen Kristall fokussiert, der eine nichtlineare Frequenzverdoppelung des einfallenden Lichtes erzeugt bzw. bedingt. Der Funktionsverlauf der Intensität des verdoppelten Lichtes mit Bezug auf die Zeit ist die Autokorrelation der Umhüllenden-Funktionen der Impulse, die zu dem verdoppelten Licht beitragen bzw. Bestandteil davon sind. Der Autokorrelations-Verlauf für das sich drehende Zahnrad ist als Funktion der Zeit am unteren Rand von Fig. 5 dargestellt. Wenn die Armlängen perfekt übereinstimmen und wenn der nichtlineare Kristall zum Verdoppeln geeignet phasenangepaßt ist, treten drei Punkte blauen Lichts aus dem Kristall aus: Der mittlere Punkt enthält die gewünschte Intensität-Autokorrelation und wird mittels eines Photomultiplizierers erfaßt. Aufgrund der Empfindlichkeit des Autokorrelations-Verfahrens reicht die Streuung von der "ursprünglichen" im Test befindlichen Oberfläche aus, um ein Autokorrelationssignal zu erhalten. Dies beseitigt die Notwendigkeit für eine reflektierende Oberfläche, spezielle reflektierende Beschichtungen oder an der Oberfläche befestigte zurückreflektierende Elemente. Selbst eine Oberflächenrauheit wird toleriert. Reinheit der Oberfläche ist nicht notwendig, womit Schmiermittel, Schmutz, Ölfilm usw. auf der Oberfläche erlaubt sind. Da es keine Anforderungen für eine interferometrische Justierung irgendeiner Kompo-



nente gibt, ist das System gegen Schwingung, Stoß bzw. Schock und thermische Beanspruchung unempfindlich. Eine Justierung bzw. Ausrichtung ist einfach und erfolgt intuitiv und die Daten sind leicht in einem verwendbaren Format verfügbar.

Wie dargestellt, wird der Referenzzweig stationär erhalten und Signale von den Zähnen werden gesammelt. Ein gepulstes Signal wird bei jedem Zahn beobachtet. Die Anzahl von Zähnen, die pro Zeiteinheit gezählt werden, ergibt einen Geschwindigkeitswert. Alternativ kann, wenn die Anstiegszeit und Abfallzeit des Impulses für jeden Zahn gemessen werden, die Geschwindigkeit, mit der die Impulszüge, die sich in der nichtlinearen Umwandlungseinrichtung kreuzen bzw. schneiden, einander passieren, berechnet werden, und somit die lineare Tangentialgeschwindigkeit des Zahns berechnet werden. Ist die Anzahl von Zähnen bekannt, kann daraus die Winkelfrequenz abgeleitet werden.

Ein anderes Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der sich aus Fig. 6a und 6b zusammensetzenden Fig. 6 gezeigt, bei dem eine Messung einer sich wiederholenden Bewegung, Schwingungsfrequenz, Amplitude und Dämpfungskonstante gemessen werden können, indem ein Oberflächen-Abstandsmessungs-Verfahren verwendet wird. Mechanische Schwingungen einer Amplitude von nur wenigen Mikrometern können exakt gemessen werden. In Fig. 6a sind die gleichen Elemente wie in Fig. 5 mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet. Der einzige merkliche Unterschied besteht darin, daß der Teststrahl nun auf das Gehäuse bzw. den Körper des schwingenden Elements V gerichtet ist, von dem die Streuung bzw. gestreute Strahlung gesammelt wird und mit dem Referenzimpuls autokorreliert wird. Wenn die Impulse, verglichen mit der Schwingungsverschiebung, kurz sind, dann werden einzelne Punkte erhalten, wenn die Längen der beiden Zweige gleich sind. Jeder der Punkte die im Verlauf des Schwingungssignals zur Rechten gezeichnet sind, stellt einen Autokorrelationsimpuls dar. Der Referenzarm des Autokorrelators ist wie in Fig. 5 dargestellt konstant bzw. fixiert. Das sich ergebende Signal ist eine Kette bzw. ein Zug von Autokorrelationsimpulsen mit annähernd gleicher Amplitude, aber mit einer zeitlich veränderlichen Trennung bzw. einem zeitlich veränderlichen Abstand. Diese zeitliche Veränderung entspricht dem, wenn die Weglänge des Meßzweiges periodisch gleich der des Referenzzweiges wird. Diese Äquivalenz kann an jedem bzw. einem beliebigen Punkt bei der Auslenkung des schwingenden Körpers auftreten. Die Zeitvariation zwischen den Autokorrelations-Peaks bzw. -Spitzenwerten kann mathematisch auf eine abfallende bzw. gedämpfte Sinuskurve angepaßt werden, und Parameter wie Schwingungsfrequenz, Dämpfungskonstante und eine Nicht-Harmonische bzw. Verstimmung kann bestimmt werden.

Jedoch kann ein abgeflachter Super-Gauss- oder rechtwinkliger Laserimpuls als ein Eingangssignal für den Korrelator verwendet werden. Eine nicht-kollineare Intensitäts-Autokorrelation eines abgeflachten Impulses ist eine Dreieckswellenfunktion, wie in Fig. 6b unten links gezeigt. Die Anstiegsflanke des Dreiecks (umkreist) hat mit Bezug auf eine Änderung der Überlappung zwischen all den Umhüllenden-Funktionen, die für einen optischen Impuls verfügbar sind, die größte Linearität. Wenn die Verschiebung der schwingenden Oberfläche einer optischen Weglänge in den Referenzzweig entspricht, die kleiner ist als die Länge der Führungsflanke des Autokorrelationssignals, dann wäre die Übertragung des Schwingung in ein elektrisches Signal äußerst linear. Deshalb ist das gemessene elektrische Signal eine wahre bzw. unverfälschte Wiedergabe der Schwingung. Aufgrund der hohen Auflösung der Einrichtung, ist eine extreme Empfindlichkeit auf Schwingungen möglich. Das System hat tatsächlich keine "natürliche Frequenz" bzw. Eigenfrequenz; was die Hauptsache bzw. der besondere Beachtung findende Punkt bei herkömmlichen Einrichtungen wie Mikrofonen und Beschleunigungsmessern ist. Bei bekannten Schwingungs-Sensoreinrichtungen (Beschleunigungsmesser, kapazitive Mikrophone bzw. Kondensator-Mikrophone, Piezo-Mikrophone usw.) kann die Reaktanz ein begrenzendes Problem sein. Der physikalische Vorgang, der die Schwingungsbewegung in ein Schwingungssignal umwandelt, wirkt der Schwingungsbewegung mit seiner eigenen entgegengesetzten Reaktion entgegen. Dies nimmt im Fall eines Beschleunigungsmessers die Form einer entgegenwirkenden elektromotorischen Kraft an ("back-emf"), im Fall eines Kondensatormikrophons die Form elektrostatischer Polarisierung, usw. Aufgrund des Fehlens einer meßbaren Reaktanz erlaubt das vorliegende optische Verfahren, daß Dämpfungskonstanten sehr viel genauer gemessen werden können.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel gemäß der Erfindung ist schematisch in Fig. 4 dargestellt. Bei diesem Verfahren werden zweifach gepulste Quellen bzw. Dual-Impuls-Quellen, d. h., zwei ultraschnelle gepulste Quellen bei verschiedenen Wiederholungsraten verwendet, um die Notwendigkeit für eine sich hin- und her bewegenden Referenzzweig zu beseitigen. Bezugszeichen 101 und 102 stellen zwei Quellen dar, die ultraschnelle Impulse jeweils bei Wiederholungsraten von  $f_1$  und  $f_2$  erzeugen. Deshalb gibt es eine zeitliche Übereinstimmung bzw. Koinzidenz von Impulsen von den beiden Quellen bei einer Frequenz von  $(f_1 - f_2)$  Hz. Dies entspricht einer minimalen Verzögerungszeit zwischen benachbarten Impulsen, die

$$t_1 - t_2 = (1/f_1) - (1/f_2)$$

entspricht. Diese entspricht einer Entfernung von  $c(t_1 - t_2)$ .

Wenn die Impulsweite  $\tau_1$  ist, dann ist  $t_1 - t_2 < \tau_1$ , so daß zumindest eine Übereinstimmung zwischen zwei Impulszügen auftritt. Eine Steuereinrichtung 105 steuert die Wiederholungsraten der beiden Impulsquellen. Typischerweise sind die Impulsquellen ultraschnelle Laser; die Wiederholungsrate von einem Laser ist konstant gehalten, und die des anderen wird verändert, indem die Resonator-Umlaufzeit unter Verwendung eines (nicht gezeigten) PZT getriebenen Spiegels verändert wird. Die Steuereinrichtung bzw. der Controller 105 überwacht in diesem Fall die Frequenz  $f_1$  und ändert die Resonatorlänge des zweiten Lasers bis die Wiederholungsrate  $f_2$  von dem zweiten Laser erreicht wird. Wenn 101 und 102 elektronisch gesteuert sind (wie beispielsweise Diodenlaser) können ihre Frequenzen direkt über die Ansteuereinrichtung bzw. Treiber der Einrichtungen gesteuert werden. (Jedoch unterliegt eine elektronische Steuerung von Dioden-Lasern Einschränkungen aufgrund von Synchronisationsstörungen bzw. Schwankungen ["timing jitter limitations"]).



Wenn keine ausreichende Anzahl von Impulsen während eines "Durchlaufs" überlappt, erfolgt eine Verringerung des Signals bzw. ein Signalabfall aufgrund einer geringeren Abtastrate, und bei fehlender Mittelwertbildung, entsteht ein größeres Störsignal bzw. Rauschen.

Ferner bezeichnet in Fig. 4 Bezugszeichen 106 die Amplituden-Zusammenführungseinrichtung bzw. -Kombinationseinrichtung, 103 eine strahlaussendende Einrichtung (Linse), und 104 eine Signal-Sammeleinrichtung (Linse). Das nichtlineare Material (typischerweise ein BBO-Kristall) ist mit 107 bezeichnet, und 108 stellt die Filter und Erfassungseinrichtung dar.

Es ist ein optischer Korrelator offenbart, der in Kombination mit einer ultraschnellen optischen gepulsten Quelle zum Bestimmen von Abständen von Objekten mit Submikrometerpräzision verwendet werden kann. Das System enthält zumindest eine ultraschnell gepulste Laserquelle, deren Signal in eine Amplituden-Aufteilungseinrichtung geführt wird, eine Einheit zum Aussenden gepulster Strahlung zu dem Ziel, zusammen mit einer Einheit zum Sammeln der von der Oberfläche des Objekts gestreuten oder reflektierten Strahlung, eine nichtlineare Einrichtung zur Zeitfensterung des gesammelten Signals mit der amplitudengeteilten Quelle, und eine Erfassungseinrichtung zum Beobachten des zeitgefensterten Signals.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Messen eines Abstands zu zumindest einem Objekt (100) mit:  
einer Einrichtung (101) zum Erzeugen eines gepulsten Lichtstrahls ultrakurzer Impulsweite;  
einer Einrichtung (102) zum Aufteilen des Lichtstrahls in einen Referenzstrahl und einen Meßstrahl;  
Einrichtungen (103, 104) zum Lenken des Meßstrahls zu dem Objekt und zum Sammeln eines reflektierten Strahls;  
einer Einrichtung (106) zum Zusammenführen des Referenzstrahls und reflektierten Strahls und zum Lenken der Strahlen zu einem Zeittor (107); und  
einer Einrichtung (108) zum Bestimmen eines Abstands zu dem Objekt aus dem von dem Zeittor erzeugten Ausgangssignal.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der die Zusammenführungseinrichtung (106) die Strahlen auf parallele Weise auf das Zeittor (107) lenkt, und Einrichtungen enthält, um die Strahlen innerhalb des Zeittors zur Überlappung zu bringen.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, bei der das Zeittor (107) einen nichtlinearen optischen Kristall umfaßt.
4. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der die Abstands-Bestimmungseinrichtung Einrichtungen zum Vergleichen einer Flugzeit des Referenzstrahls mit einer Flugzeit des Meßstrahls enthält.
5. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der das Zeittor (107) einen nichtlinearen frequenzverdoppelnden Kristall umfaßt, der eine Autokorrelationsfunktion der Strahlen erzeugt, die Maximalwerte an Stellen hat, wo die Impulse der Strahlen zeitlich übereinstimmen, wenn der Referenzstrahl und der Meßstrahl diesem zugeführt werden.
6. Vorrichtung nach Anspruch 5, bei der der Referenzstrahl entlang einem Referenzweg veränderlicher Länge läuft und ferner Einrichtungen zum Erzeugen einer veränderlichen Zeitverzögerung (105) in dem Referenzweg enthalten sind, um die Länge des Referenzwegs zu steuern.
7. Vorrichtung nach Anspruch 6, bei der die Einrichtungen (105) zur Erzeugung einer veränderlichen Zeitverzögerung einen schwingenden oder sich hin- und herbewegenden Retroreflektor umfaßt.
8. Vorrichtung nach Anspruch 5, bei der der Referenzstrahl entlang einem Referenzweg festgelegter Länge verläuft und bei der der Meßstrahl entlang eines Meßwegs verläuft, der eine sich zeitlich verändernde Länge hat.
9. Vorrichtung nach Anspruch 8, bei der das Objekt Schwingungen ausgesetzt ist, und die Abstands-Bestimmungseinrichtungen Einrichtungen zum mathematischen Ausgleichen aufeinanderfolgender Autokorrelationsmaxima zu einer Sinusfunktion enthält, um dadurch zumindest eine Schwingungsfrequenz des Objektes zu bestimmen.
10. Vorrichtung nach Anspruch 8, bei der das Objekt einen rotierenden Körper hat, mit zumindest einem zum Reflektieren/Streuen des Meßstrahls geeigneten Abschnitt, wenn das Objekt rotiert, und die Abstands-Bestimmungseinrichtung Einrichtungen zum Berechnen eines Geschwindigkeitswerts in Übereinstimmung mit dem Zeitverlauf der Reflexion des Meßstrahls enthält.
11. Vorrichtung zum Messen eines Abstands zu zumindest einem Objekt (100), mit:  
zumindest einer ersten und zweiten einzelnen Quelleneinrichtung (101, 102) zum Erzeugen gepulster Lichtstrahlen mit ultrakurzer Impulsbreite;  
einer Einrichtung (103) zum Lenken eines ersten, eines Meßstrahls zu dem Objekt (100) und einer Einrichtung (104) zum Sammeln eines reflektierten Strahls;  
einer Einrichtung (102) zum Lenken eines zweiten, eines Referenzstrahls entlang eines optischen Referenzwegs;  
einer Einrichtung (105) zum Steuern von Wiederholungsraten der ersten und zweiten Quelleneinrichtung, um so eine Frequenz zeitlicher Übereinstimmung der gepulsten Lichtstrahlen zu steuern;  
einer Einrichtung (106) zum Zusammenführen des Referenzstrahls und des reflektierten Strahls und zum Lenken der Strahlen auf ein Zeittor (107); und  
einer Einrichtung (108) zum Bestimmen eines Abstands zu dem Objekt aus dem von dem Zeittor erzeugten Ausgangssignal.
12. Verfahren zum Messen eines Abstands zu einem Objekt, daß die Schritte umfaßt:  
(a) Erzeugen von zumindest einem Lichtstrahl mit einer ultrakurzen Impulsbreite und Erhalten eines Referenzstrahls und eines Meßstrahls daraus;

- (b) Lenken des Meßstrahls auf das Objekt um einen reflektierten Strahl zu erzeugen;
- (c) Zusammenführen des Referenzstrahls und des reflektierten Strahls in einem nichtlinearen frequenzverdoppelnden Kristall; und
- (d) Erfassen eines Abstands zu dem Objekt aus einem von dem Kristall erzeugten Ausgangssignal.

13. Vorrichtung zum Messen eines Abstands zu zumindest einem Objekt (100) mit: 5  
 zumindest einer ersten und zweiten einzelnen Quelleneinrichtung zum Erzeugen von gepulsten Lichtstrahlen mit ultrakurzer Impulsbreite bei zumindest zwei einzelnen Wellenlängen;  
 einer Einrichtung zum Lenken eines ersten, eines Meßstrahls zu dem Objekt und zum Sammeln eines reflektierten Strahls;  
 einer Einrichtung zum Lenken eines zweiten, eines Referenzstrahls entlang eines optischen Referenzwegs; 10  
 einer Einrichtung zum Zusammenführen des Referenzstrahls und des reflektierten Strahls und zum Lenken der Strahlen auf ein Zeittor; und  
 einer Einrichtung zum Bestimmen eines Abstands zu dem Objekt aus einem von dem Zeittor erzeugten Ausgangssignal.
14. Vorrichtung nach Anspruch 8, bei der das Objekt einer periodischen oder nicht periodischen Bewegung ausgesetzt ist, und bei der die ultrakurzen Impulse auseinandergehende Impulse sind, so daß die Autokorrelations-Amplitude ein Meßwert der Position ist. 15

---

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

---

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

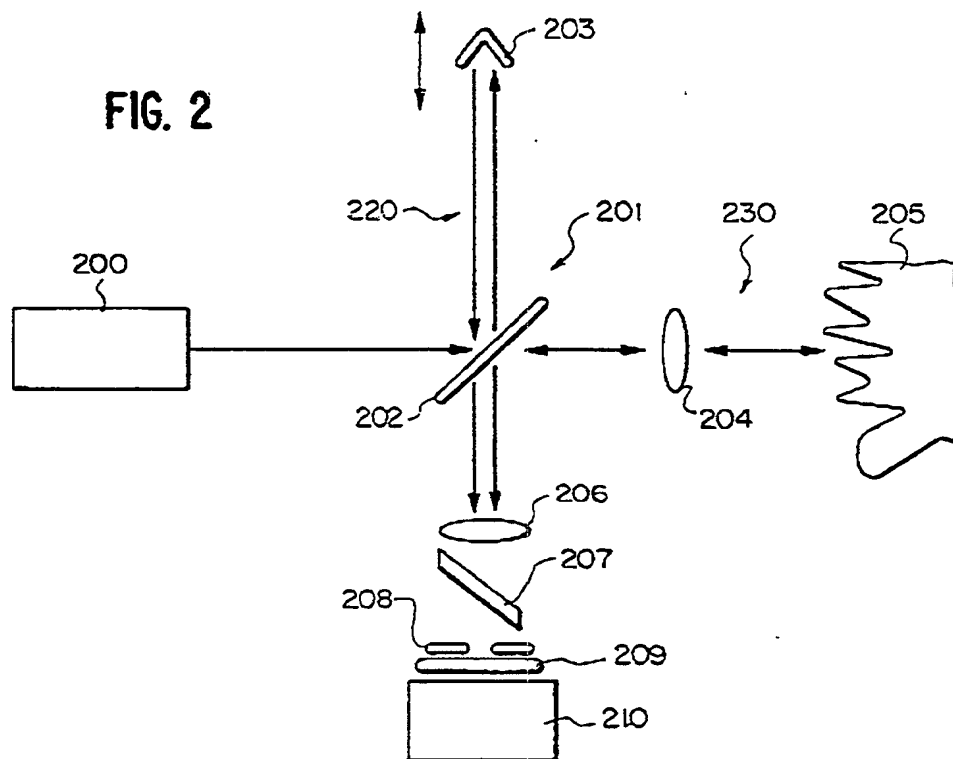
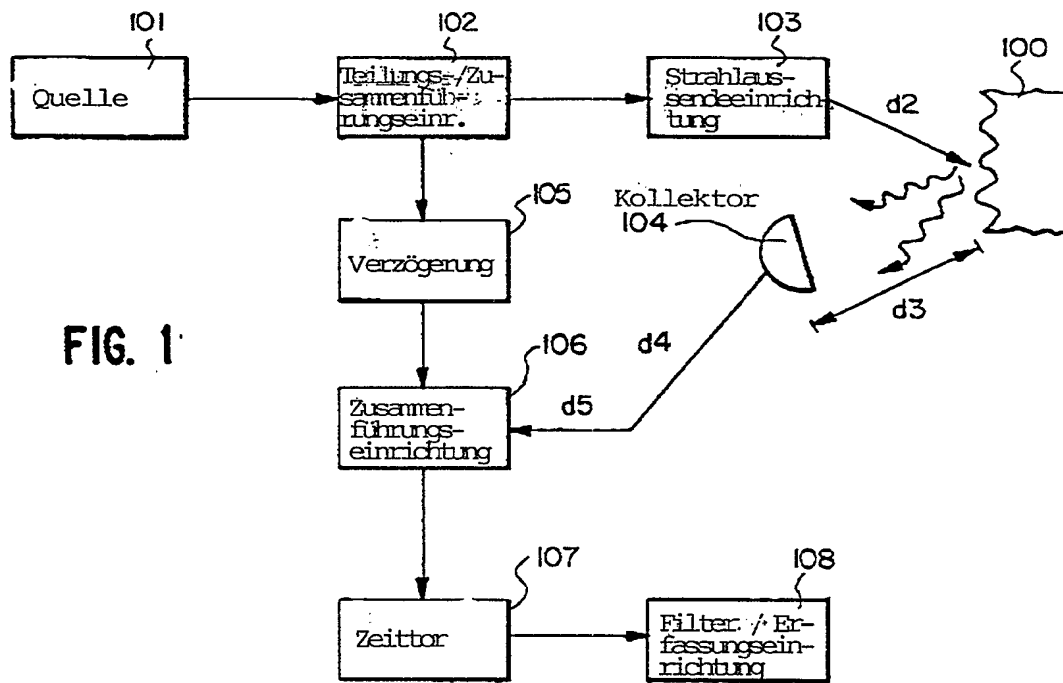


FIG. 3

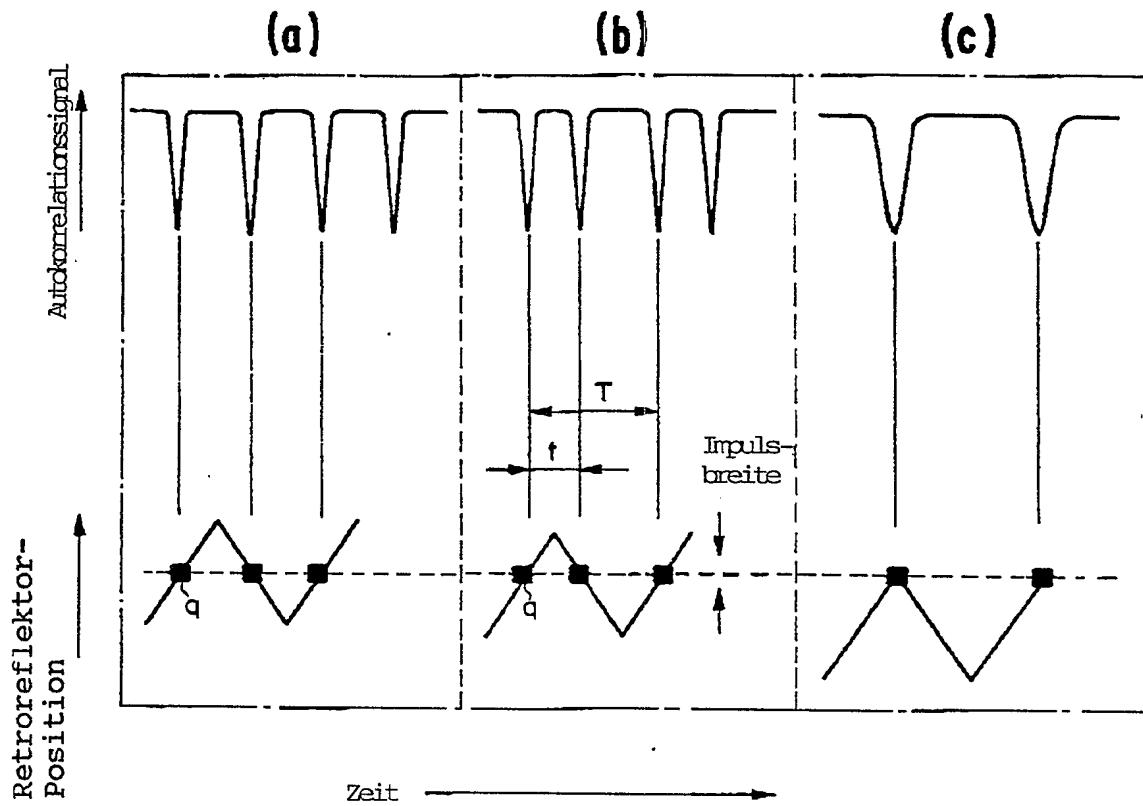
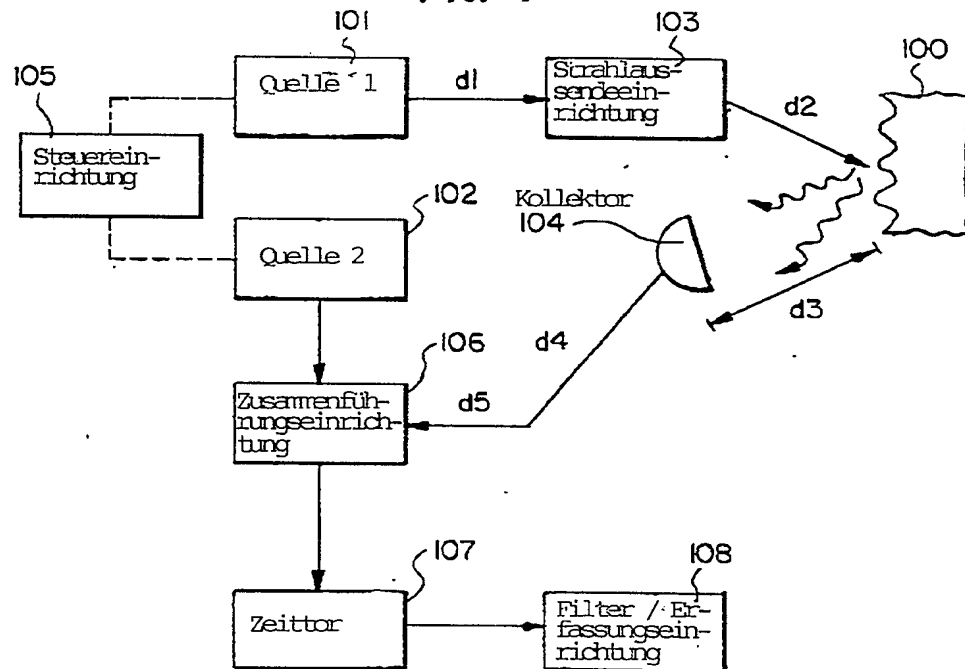
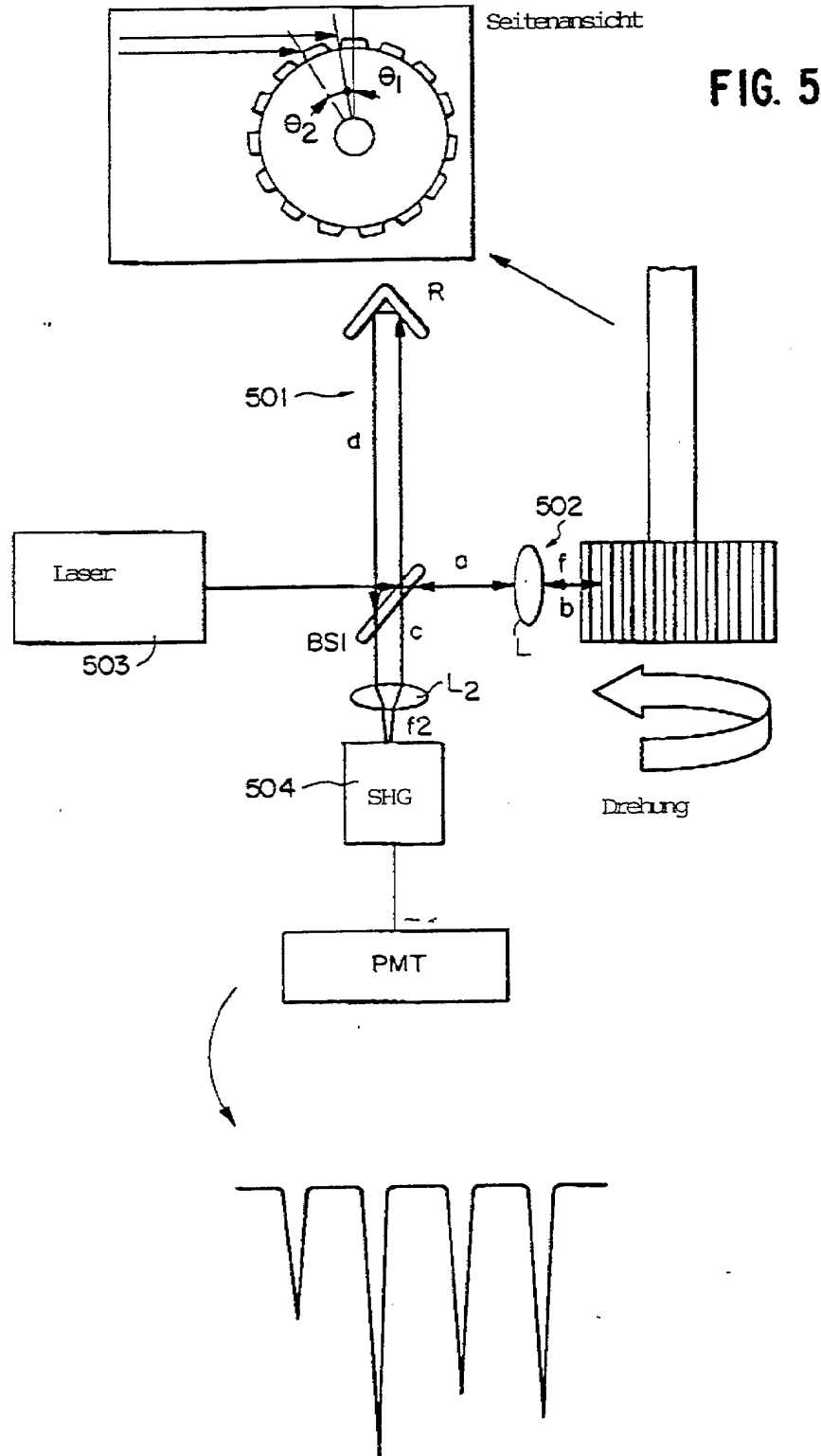
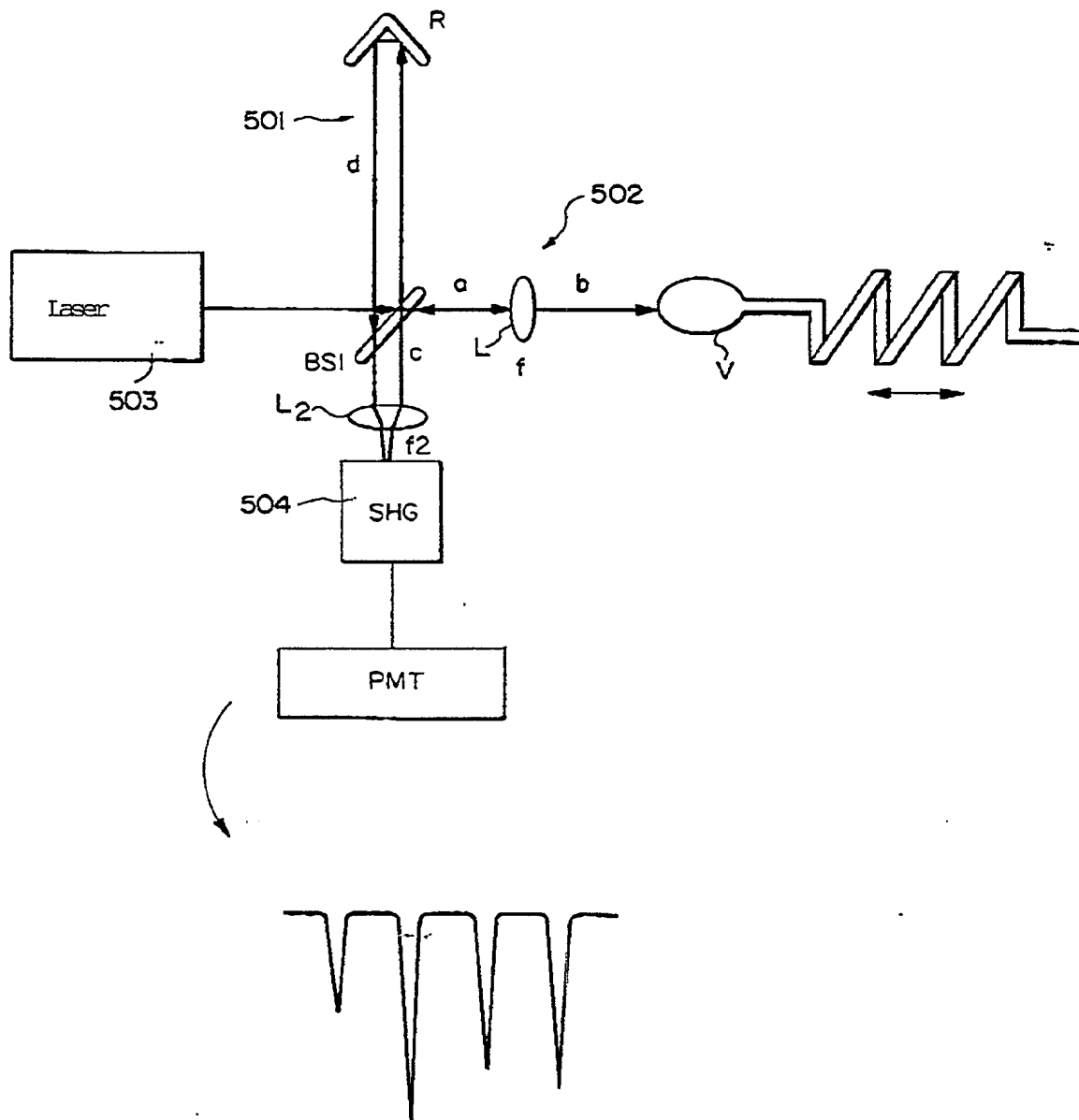


FIG. 4



508 040/683





**FIG. 6A**

**FIG. 6B**

